

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengerinan

Pengerinan merupakan suatu metode pengawetan dengan cara mengurangi kadar air bahan pangan sehingga memiliki daya simpan yang cukup lama [17]. Kadar air pada produk pangan yang aman disimpan dan untuk diolah lagi adalah 15% atau kurang [18] maka aktivitas mikroba, bakteri, dan jamur menjadi terhambat sehingga produk pangan dapat dipasarkan ke tempat-tempat yang jauh dan akan tahan lama. Dari proses pengerinan, hasil yang diperoleh ialah bahan akhir yang memiliki kadar air setara dengan kadar air keseimbangan udara (atmosfir) atau setara dengan nilai aktifitas air (A_w) yang aman dari kerusakan mikrobiologis [19]. Pengertian dari proses pengerinan berbeda dengan proses penguapan (evaporasi). Proses penguapan atau evaporasi merupakan suatu proses pemisahan uap air dalam bentuk murni dari suatu campuran yang berupa larutan atau bahan cair dalam jumlah volume yang relatif banyak.

Pengerinan merupakan salah satu cara dalam teknologi pangan yang dilakukan dengan tujuan pengawetan untuk mengeluarkan kandungan air yang terdapat dalam satu bahan[20]. Tujuan pengerinan yaitu untuk mengurangi kadar air bahan sampai batas perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau bahkan terhenti sama sekali. Dengan demikian, bahan yang dikeringkan mempunyai waktu simpan lebih lama.

Prinsip pengerinan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut perpindahan panas ke dalam dan perpindahan massa keluar. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengerinan adalah [21]

1. Luas Permukaan

Pada umumnya, bahan pangan yang dikeringkan mengalami pengecilan ukuran, baik dengan cara diiris, dipotong, atau digiling. Proses pengecilan ukuran dapat mempercepat proses pengeringan dengan mekanisme sebagai berikut :

- a. Pengecilan ukuran memperluas permukaan bahan. Luas permukaan bahan yang tinggi atau ukuran bahan yang semakin kecil menyebabkan permukaan yang dapat kontak dengan medium pemanas menjadi lebih baik,
- b. Luas permukaan yang tinggi juga menyebabkan air lebih mudah berdifusi atau menguap dari bahan pangan sehingga kecepatan penguapan air lebih cepat dan bahan menjadi lebih cepat kering.
- c. Ukuran yang kecil menyebabkan penurunan jarak yang harus ditempuh oleh panas. Panas harus bergerak menuju pusat bahan pangan yang dikeringkan. Demikian juga jarak pergerakan air dari pusat bahan pangan ke permukaan bahan menjadi lebih pendek.

2. Perbedaan Suhu Sekitar

Pada umumnya, semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan pangan semakin cepat pindah panas ke bahan pangan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan pangan. Semakin tinggi suhu udara, semakin banyak uap air yang dapat ditampung oleh udara tersebut sebelum terjadi kejenuhan. Dapat disimpulkan bahwa udara bersuhu tinggi lebih cepat mengambil air dari bahan pangan sehingga proses pengeringan lebih cepat.

3. Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak atau bersirkulasi akan lebih cepat mengambil uap air dibandingkan udara diam. Pada proses pergerakan udara, uap air dari bahan akan diambil dan terjadi mobilitas yang menyebabkan udara tidak pernah mencapai titik jenuh. Semakin cepat pergerakan atau sirkulasi udara, proses pengeringan akan semakin cepat. Prinsip ini yang menyebabkan beberapa proses pengeringan menggunakan sirkulasi udara.

4. Kelembaban Udara

Kelembaban udara menentukan kadar air akhir bahan pangan setelah dikeringkan. Bahan pangan yang telah dikeringkan dapat menyerap air dari

udara di sekitarnya. Jika udara disekitar bahan pengering tersebut mengandung uap air tinggi atau lembab, maka kecepatan penyerapan uap air oleh bahan pangan tersebut akan semakin cepat. Proses penyerapan akan terhenti sampai kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan tersebut tercapai. Kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan adalah kelembaban pada suhu tertentu dimana tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara dan tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara dan tidak terjadi penyerapan uap air dari udara oleh bahan pangan.

5. Lama Pengeringan

Lama pengeringan menentukan lama kontak bahan dengan panas. Karena sebagian besar bahan pangan sensitif terhadap panas maka waktu pengeringan yang digunakan harus maksimum, yaitu kadar air bahan akhir yang diinginkan telah tercapai dengan lama pengeringan yang pendek. Pengeringan dengan suhu yang tinggi dan waktu yang pendek dapat lebih menekan kerusakan bahan pangan dibandingkan dengan waktu pengeringan yang lebih lama dan suhu lebih rendah. Misalnya, jika kita akan mengeringkan kacang-kacangan, pengeringan dengan pengering rak pada suhu 80°C selama 4 jam akan menghasilkan kacang kering yang mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan penjemuran selama 2 hari.

2.1.1 Prinsip Dasar Pengeringan

Prinsip dasar proses pengeringan adalah proses terjadinya pindah panas dari alat pengering dan difusi air (pindah massa) dari bahan yang dikeringkan. Pindah panas air tersebut memerlukan perubahan fase air dari cair menjadi uap, sehingga proses perubahan tersebut memerlukan panas laten. Pengering dengan pemanasan konveksi (oven, fluidisasi) dimana udara panas dihasilkan melalui proses pemanasan baik dengan steam, listrik, atau gas hasil pembakaran, lebih handal dari pengering matahari. Pada sistem ini waktu operasi lebih singkat, kontaminasi produk rendah, kadar air dalam produk dapat dikontrol, tidak ada ketergantungan terhadap musim, serta biaya buruh dapat ditekan. Namun kualitas produk mengalami penurunan akibat introduksi panas, dan efisiensi pengeringan rendah atau boros energi[22]. Pengeringan adalah terjadinya

penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Dalam hal ini kandungan uap air udara lebih sedikit atau udara mempunyai kelembaban nisbi yang rendah sehingga terjadi penguapan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada dua yaitu faktor yang berhubungan dengan udara pengering seperti suhu, kecepatan aliran udara pengering, dan kelembaban udara, sedangkan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan berupa ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan. Proses pengeringan dengan memanfaatkan perpindahan panas, dapat terjadi melalui dua cara yaitu pengeringan langsung dan pengeringan tidak langsung. Pengeringan langsung merupakan cara pengeringan dengan sumber pemanas berhubungan langsung dengan bahan yang dikeringkan, sedangkan pengeringan tidak langsung yaitu sumber panas dilewatkan melalui zat perantara atau benda padat kemudian zat perantara tersebut yang langsung berhubungan dengan produk bahan dikeringkan.

Pengeringan bertujuan untuk memperpanjang umur simpan dengan cara mengurangi kadar air untuk mencegah tidak ditumbuhi oleh mikroorganisme pembusuk. Dalam proses pengeringan dilakukan pengaturan terhadap suhu, kelembaban (*humidity*) dan aliran udara. Perubahan kadar air dalam bahan pangan disebabkan oleh perubahan energi dalam sistem. Untuk itu, dilakukan perhitungan terhadap neraca energi untuk mencapai keseimbangan. Alasan yang mendukung proses pengeringan dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme adalah untuk mempertahankan mutu produk terhadap perubahan fisik dan kimiawi yang ditentukan oleh perubahan kadar air, mengurangi biaya penyimpanan, pengemasan dan transportasi, untuk mempersiapkan produk kering yang akan dilakukan pada tahap berikutnya, menghilangkan kadar air yang ditambahkan akibat selama proses sebelumnya, memperpanjang umur simpan dan memperbaiki kegagalan produk.

2.1.2 Jenis Pengeringan

Terdapat beberapa tipe alat pengering yang sering digunakan, di antaranya yaitu :

1. *Tray Dryer*

Pengering baki (*tray dryer*) disebut juga pengering rak atau pengering kabinet, dapat digunakan untuk mengeringkan padatan bergumpal atau pasta, yang diletakkan pada baki logam dengan ketebalan 10-100 mm. Pengeringan jenis baki atau wadah adalah dengan meletakkan material yang akan dikeringkan pada baki yang langsung berhubungan dengan media pengering. Cara perpindahan panas yang umum digunakan adalah konveksi dan perpindahan panas secara konduksi juga dimungkinkan dengan memanaskan baki tersebut.

Rangka bak pengering terbuat dari besi, rangka bak pengering dibentuk dan dilas, kemudian dibuat dinding untuk penyekat udara dari bahan plat seng dengan tebal 0,3 mm. Dinding tersebut dilengketkan pada rangka bak pengering dengan cara di revet serta dilakukan pematrian untuk menghindari kebocoran udara panas. Kemudian plat seng dicat dengan warna hitam buram, agar dapat menyerap panas dengan lebih cepat. Pada bak pengering dilengkapi dengan pintu yang berguna untuk memasukkan dan mengeluarkan produk yang dikeringkan. Di pintu tersebut dibuat kaca yang memungkinkan kita dapat mengetahui temperature tiap rak, dengan cara melihat thermometer yang sengaja digantungkan pada setiap rak pengering. Di bagian atas bak pengering dibuat cerobong udara, bertujuan untuk memperlancar sirkulasi udara pada proses pengeringan.

2. *Rotary Dryer*

Rotary dryer atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering berbentuk sebuah drum yang berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau *gasifier*. Alat pengering ini dapat bekerja pada aliran udara melalui poros silinder pada suhu 1200-1800°F tetapi pengering ini lebih seringnya digunakan pada suhu 400-900°F.

Rotary dryer sudah sangat dikenal luas di kalangan industri karena proses pengeringannya jarang menghadapi kegagalan baik dari segi output kualitas maupun kuantitas. Namun sejak terjadinya kelangkaan dan mahalnya bahan bakar minyak dan gas, maka teknologi *rotary dryer* mulai dikembangkan untuk berdampingan dengan teknologi bahan bakar substitusi seperti *burner* batubara, gas sintesis dan sebagainya.

Pengering *rotary dryer* biasa digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk bubuk, granula, gumpalan partikel padat dalam ukuran besar. Pemasukkan dan pengeluaran bahan terjadi secara otomatis dan berkesinambungan akibat gerakan vibrator, putaran lubang umpan, gerakan berputar dan gaya gravitasi. Sumber panas yang digunakan dapat berasal dari uap listrik, batubara, minyak tanah dan gas. Debu yang dihasilkan dikumpulkan oleh *scrubber* dan penangkap air elektrostatis.

Pada alat pengering *rotary dryer* terjadi dua hal yaitu kontak bahan dengan dinding dan aliran uap panas yang masuk ke dalam drum. Pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan dinding disebut konduksi karena panas dialirkan melalui media yang berupa logam. Sedangkan pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan aliran uap disebut konveksi karena sumber panas merupakan bentuk aliran. Pada pengeringan dengan menggunakan alat ini penyerapan panas mudah dilakukan dan terjadi penyusutan bobot yang lebih tajam dibandingkan dengan penurunan pembobotan yang dialami *tray dryer*.

3. *Fluidized Bed Dryer*

Pengeringan hampan terfluidisasi (*Fluidized Bed Drying*) adalah proses pengeringan dengan memanfaatkan aliran udara panas dengan kecepatan tertentu yang dilewatkan menembus hampan bahan sehingga hampan bahan tersebut memiliki sifat seperti fluida.

Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Pengeringan ini banyak digunakan untuk pengeringan bahan berbentuk partikel atau butiran, baik untuk industri kimia, pangan, keramik, farmasi, pertanian, polimer dan limbah. Proses pengeringan dipercepat dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara panas sampai bahan terfluidisasi. Dalam kondisi ini terjadi penghambusan bahan sehingga memperbesar luas kontak pengeringan, peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi, dan peningkatan laju difusi uap air.

Kecepatan minimum fluidisasi adalah tingkat kecepatan aliran udara terendah dimana bahan yang dikeringkan masih dapat terfluidisasi dengan baik, sedangkan kecepatan udara maksimum adalah tingkat kecepatan tertinggi dimana pada tingkat kecepatan ini bahan terhembus ke luar ruang pengering.

4. *Freeze Dryer*

Freeze Dryer merupakan suatu alat pengeringan yang termasuk kedalam *Conduction Dryer / Indirect Dryer* karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah / lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas terjadi secara hantaran (konduksi), sehingga disebut juga *Conduction Dryer/ Indirect Dryer*.

Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas.

2.1.3 Alat Pengering Tipe *Tray Dryer*

Tray Dryer (Cabinet Dryer) merupakan salah satu alat pengeringan yang tersusun dari beberapa buah *tray* di dalam satu rak. *Tray dryer* sangat besar manfaatnya bila produksinya kecil, karena bahan yang akan dikeringkan berkontak langsung dengan udara panas. Namun alat ini membutuhkan tenaga kerja dalam proses produksinya, biaya operasi yang agak mahal, sehingga alat ini sering digunakan pada pengeringan bahan – bahan yang bernilai tinggi. *Tray dryer* atau alat pengering tipe rak, mempunyai bentuk persegi dan didalamnya berisi rak-rak, yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Beberapa alat pengering jenis ini rak-raknya mempunyai roda sehingga dapat dikeluarkan dari alat pengeringnya. Bahan diletakan di atas rak (*tray*) yang terbuat dari logam yang berlubang. Kegunaan lubang-lubang tersebut untuk mengalirkan udara panas.

Ukuran yang digunakan bermacam-macam, ada yang luasnya 200 cm² dan ada juga yang 400 cm². Luas rak dan besar lubang-lubang rak tergantung pada bahan yang dikeringkan. Apabila bahan yang akan dikeringkan berupa butiran halus, maka lubangnya berukuran kecil. Pada alat pengering ini bahan selain ditempatkan langsung pada rak-rak dapat juga ditebarkan pada wadah lainnya misalnya pada baki dan nampan. Kemudian pada baki dan nampan ini disusun diatas rak yang ada di dalam pengering. Selain alat pemanas udara, biasanya juga

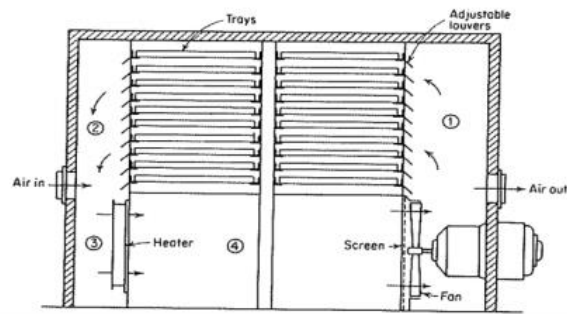
digunakan juga kipas (*fan*) untuk mengatur sirkulasi udara dalam alat pengering.

Tray dryer termasuk kedalam sistem pengering konveksi menggunakan aliran udara panas untuk mengeringkan produk. Proses pengeringan terjadi saat aliran udara panas ini bersinggungan langsung dengan permukaan produk yang akan dikeringkan. Produk ditempatkan pada setiap rak yang tersusun sedemikian rupa agar dapat dikeringkan dengan sempurna. Udara panas sebagai fluida kerja bagi model ini diperoleh dari pembakaran bahan bakar, panas matahari atau listrik. Kelembaban relatif udara yang mana sebagai faktor pembatas kemampuan udara menguapkan air dari produk sangat diperhatikan dengan mengatur pemasukan dan pengeluaran udara dari alat pengering ini melalui sebuah alat pengalir.

Udara yang telah melewati kipas masuk ke dalam alat pemanas, pada alat ini udara dipanaskan lebih dulu kemudian dialurkan diantara rak-rak yang sudah berisi bahan. Arah aliran udara panas didalam alat pengering bisa dari atas ke bawah dan bisa juga dari bawah ke atas, sesuai dengan dengan ukuran bahan yang dikeringkan. Untuk menentukan arah aliran udara panas ini maka letak kipas juga harus disesuaikan, seperti dilihat pada **Gambar 2.1**.

Penggunaannya cocok untuk bahan yang berbentuk padat dan butiran, dan sering digunakan untuk produk yang jumlahnya tidak terlalu besar. Waktu pengeringan yang dibutuhkan 1-6 jam tergantung dari dimensi alat yang digunakan dan banyaknya bahan yang dikeringkan, sumber panas dapat berasal dari *steam boiler*.

Pengering *tray* ini dapat beroperasi dalam vakum dan dengan pemanasan tak langsung. Uap dari zat padat dikeluarkan dengan *ejector* atau pompa vakum. Pengeringan dengan sirkulasi udara menyilang lapisan zat padat memerlukan waktu sangat lama dan siklus pengeringan panjang yaitu 4-8 jam per tumpak. Selain itu dapat juga digunakan sirkulasi tembus, tetapi tidak ekonomis karena pemendekan siklus pengeringan tidak akan mengurangi biaya tenaga kerja yang diperlukan untuk setiap tumpak.



Sumber : Geankoplis, C.J.,2003

Gambar 2.1 *Tray Dryer*

2.1.4 Pemanfaatan Energi Surya

Pemanfaatan Energi Surya Indonesia memiliki potensi yang cukup besar untuk menjadikan solar sel sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada daerah khatulistiwa. Dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas 1 m² mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mencapai 4500 watt hour/m² yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini. Dan matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya.

Karena sel surya sanggup menyediakan energi listrik bersih tanpa polusi, mudah dipindah, dekat dengan pusat beban sehingga penyaluran energi sangat sederhana serta sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai karakteristik cahaya matahari yang baik (intensitas cahaya tidak fluktuatif) dibandingkan negara-negara 4 musim, utamanya lagi sel surya relatif efisien, tidak ada pemeliharaan yang spesifik dan bisa mencapai umur yang panjang serta mempunyai keandalan yang tinggi. Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, ada 2 (dua) macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu teknologi energi surya fotovoltaik dan teknologi energi surya termal.

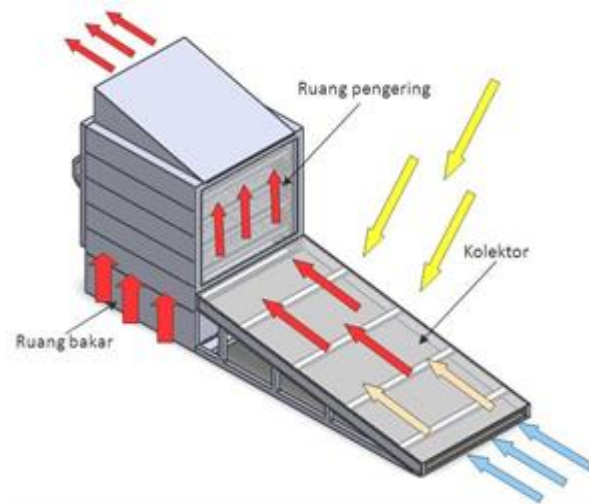
2.1.5 Alat Pengering Sistem *Hybrid*

Alat Pengering Sistem *hybrid* merupakan pengering yang menggunakan dua atau lebih sumber energi untuk proses penguapan air. Mesin pengering hybrid dalam operasional akan memerlukan lebih sedikit biaya dan sangat membantu

dalam hal proses pengeringan. Mesin pengering hybrid ini bisa dimanfaatkan untuk pengeringan hasil pertanian, laut maupun untuk hasil industri kecil seperti pengeringan kerupuk, tanaman herbal dan lainnya. Pengering *hybrid* memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya. Kelebihannya yaitu biaya operasional yang sedikit, berlangsung secara kontinyu, tidak tergantung tempat, waktu dan cuaca, kadar air yang dihasilkan relative homogen, proses pengeringan yang cepat karena teraduk merata, menggunakan dua sumber energi yang berbeda. Sedangkan kelemahannya yaitu luas penampung pengeringan yang kecil dan terbatas pada pengeringan produk pertanian berbentuk padat.

Pengering mekanis sistem *hybrid* pada prinsipnya sama seperti pengeringan mekanis pada umumnya. Radiasi matahari diubah menjadi energi panas, dikombinasikan dengan energi panas hasil pembakaran biomassa atau listrik apabila radiasi matahari berkurang atau tidak ada. Mesin pengering sistem *hybrid* secara umum terdiri atas media penangkap radiasi, ruang pengering, tungku pembakaran atau *heater*, dan cerobong. Mesin pengering sistem *hybrid* juga menggunakan bantuan alat lain untuk membantu sirkulasi udara panas yang ditangkap dan disebar di dalam ruang pengering. Distribusi suhu pada ruang pengering sangat berpengaruh dalam mengeringkan bahan pangan yang dikeringkan. Apabila kondisi cuaca cerah pada siang hari maka pengeringan memanfaatkan penuh sumber energi matahari, sedangkan pada malam hari atau pada kondisi cuaca hujan atau mendung maka sumber energi dikombinasikan dengan energi hasil pembakaran biomassa atau listrik.

Mekanisme kerja sistem pengering hibrida yaitu pada mesin pengering ini mempunyai komponen utama terdiri atas kolektor yang juga berfungsi sebagai *vortex*, distributor, ruang pengering, *hopper*, tungku biomassa konveyor dan pneumatic[23], seperti dilihat pada **Gambar 2.2**.



Sumber : Hatta,dkk., 2019

Gambar 2.2 Tray Dryer Sistem Hybrid

2.2 Perpindahan Panas

Dalam proses pengeringan terjadi proses perpindahan panas yang terbagi menjadi tiga cara yaitu konduksi (hantaran), konveksi dan radiasi.

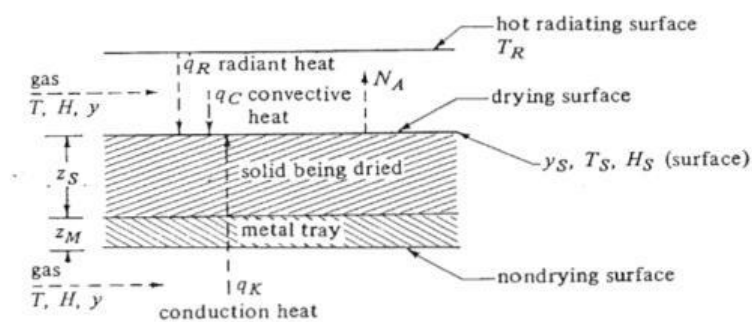


FIGURE 9.8-1. Heat and mass transfer in drying a solid from the top surface.

Sumber : Geankoplis, C.J..2003

Gambar 2.3 Fenomena Perpindahan Panas

2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, suhu

elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul –molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan positif relative molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energi dalam elemen zat.

Bila molekul-molekul di satu daerah memperoleh energy kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul di suatu daerah yang berdekatan, sebagaimana diwujudkan oleh adanya beda suhu, maka molekul-molekul yang memiliki energi yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bersuhu lebih rendah. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi[24].

Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi sama dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek dari pada jarak antara molekul-molekul pada fase gas. Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konduksi adalah Hukum Fourier. Hukum Fourier dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$q_k = U_k(T - T_s)A \dots\dots\dots 2.1 \quad [24]$$

Dimana:

- q_k = Laju Perpindahan Panas Konduksi, Kj (Btu/h)
- A = Luas Dinding (Luas Perpindahan Panas). m^2 (ft^2)
- T = Temperatur Udara $^{\circ}C$ ($^{\circ}F$)
- T_s = Temperatur Pelat $^{\circ}C$ ($^{\circ}F$)

$$U_k = \frac{1}{1/hc + \frac{z_m}{k_m} + \frac{z_s}{k_s}} \dots\dots\dots 2.2 \quad [24]$$

Dimana:

z_m = Ketebalan Pelat, m

z_s = Ketebalan Bahan, m

k_m = Konduktivitas Termal Pelat, W/m.K

k_s = Konduktivitas Termal Bahan, W/m.K

h_c = Koefisien Perpindahan Panas, W/m².K

2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas[25].

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur, dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya[26].

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu :

1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*) adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.

Contoh : plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

2. Konveksi paksaan (*forced convection*) adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar.

Contoh : plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Newton. Hukum Newton dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$q_c = h_c A (T_w - T_s) \dots\dots\dots 2.3 \quad [24]$$

$$\frac{q_c}{A} = h_c(T_w - T_s) \quad \dots\dots\dots 2.4 \quad [24]$$

Dimana :

T_w = Temperatur Dinding (Temperatur Udara Panas), °C (°F)

T_s = Temperatur Pelat °C (°F)

A = Luas Dinding (Luas Permukaan Perpindahan Panas), m² (ft²)

h_c = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, W/m².K

q_c = Laju Perpindahan Panas Konveksi, Kj (Btu/h)

2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk bak gelombang (kumpulan) energi yang terbatas. Gerakan panas radiasi di dalam ruang mirip perambatan cahaya dan dapat diuraikan dengan teori gelombang. Bilamana gelombang radiasi menjumpai benda yang lain, maka energi diserap di dekat permukaan benda tersebut[27].

Benda yang dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut radiator yang sempurna dan dikenal sebagai benda hitam (*black body*). Sedangkan benda yang tidak dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan benda abu-abu (*gray body*). Hukum Stefan-Boltzman dinyatakan dengan :

$$q_R = h_R(T_R - T_s)A \quad \dots\dots\dots 2.5 \quad [24]$$

$$h_R = \sigma \varepsilon \frac{\left(\frac{T_R}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s}{100}\right)^4}{T_R - T_s} \quad \dots\dots\dots 2.6 \quad [24]$$

Dimana :

ε = Emisivitas

T_s = Temperatur Pelat, °C (°F)

T_R = Temperatur Radiasi, °C (°F)

A = Luas Dinding (Luas Permukaan Perpindahan Panas), m² (ft²)

q_r = Laju Perpindahan Panas Radiasi, Kj (Btu/h)

σ = Konstanta Stefan-Boltzman, $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Konstanta Proporsional)

2.3 Laju Pengeringan

Proses pengeringan pada periode pengeringan dengan laju tetap, bahan mengandung air yang cukup banyak, dimana pada permukaan bahan berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Laju penguapan sebagian besar tergantung pada keadaan sekeliling bahan, sedangkan pengaruh bahannya sendiri relatif kecil. Laju pengeringan akan menurun seiring dengan penurunan kadar air selama pengeringan. Jumlah air terikat makin lama semakin berkurang. Perubahan dari laju pengeringan tetap menjadi laju pengeringan menurun untuk bahan yang berbeda akan terjadi pada kadar air yang berbeda pula[28].

Perhitungan laju pengeringan membutuhkan data hasil pengukuran dari Perpindahan massa, Perpindahan panas, waktu, suhu dan luas permukaan. Pada periode laju pengeringan, perhitungannya bisa didasarkan atas perpindahan massa sebagai berikut

$$q = q_c + q_k + q_r \dots\dots\dots 2.7 \quad [24]$$

$$R_c = \frac{q}{A \cdot \lambda_s} = \frac{q_c + q_k + q_r}{A \cdot \lambda_s} \dots\dots\dots 2.8 \quad [24]$$

Dimana :

q_k = Laju Perpindahan Panas Konduksi, Kj (Btu/h)

q_k = Laju Perpindahan Panas Konveksi, Kj (Btu/h)

q_r = Laju Perpindahan Panas Radiasi, Kj (Btu/h)

A = Luas dinding (luas perpindahan panas). m^2 (ft^2)

λ_s = Entalpi, J/kg

2.4 Ikan Asin

Ikan asin adalah ikan yang telah diawetkan dengan cara penggaraman. Pengawetan ini sebenarnya terdiri dari dua proses, yaitu proses penggaraman dan pengeringan. Tujuan utama dari penggaraman sama dengan tujuan proses

pengawetan atau pengolahan lainnya, yaitu untuk memperpanjang daya tahan dan daya simpan ikan[29]. Ikan asin atau ikan kering merupakan hasil proses penggaraman dan pengeringan. Ikan ini mempunyai kadar air rendah karena penyerapan oleh garam dan penguapan oleh panas. Beberapa jenis ikan yang biasanya diawetkan menjadi ikan asin atau ikan kering adalah ikan sepat, ikan kakap, tenggiri, tongkol, kembung, layang, teri, petek, mujair, dan lain-lain [30].

Ikan asin termasuk salah satu jenis makanan yang sangat digemari oleh masyarakat Indonesia dan merupakan salah satu unsur penting dalam peningkatan gizi yang relatif murah. Meskipun memiliki gizi yang cukup tinggi, ikan asin sering dianggap makanan masyarakat golongan ekonomi lemah. Tetapi saat ini ikan asin telah diterima oleh masyarakat golongan ekonomi menengah keatas. Bahkan produk-produk ikan asin tertentu dapat dikategorikan sebagai makanan mewah. Ikan hasil pengolahan dan pengawetan umumnya sangat disukai oleh masyarakat karena produk akhirnya mempunyai ciri-ciri khusus yakni perubahan sifat-sifat daging seperti bau (*odour*), rasa (*flavour*), bentuk (*appereance*) dan tekstur[31].

Tabel 2.1 Komposisi Ikan Asin

NO	Kandungan	Besaran (%)
1.	Karbohidrat	0
2.	Protein	92
3.	Lemak	8
4.	Mineral (Calsium) Vitamin (A, C) dll	2 - 9

Sumber: Susanto, 2006.

2.5 Finned Heater

Finned heater adalah pengembangan dari elemen pemanas yang dasar perancangannya dari tubular heater seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.4**. Heater ini dibuat dengan memberikan sirip yang terbuat dari stainless steel, ukuran lebar sirip sebesar 10 mm, sehingga diameter heater menjadi 31,75 mm (Dengan diameter Pipa Standar USM 11,2 mm)[32]. *Finned heater* memiliki berbagai bentuk berdasarkan kebutuhan dan penggunaanya.

Finned Heater adalah salah satu jenis heating element yang berbentuk pipa dan bersirip sehingga sangat cocok untuk pemanasan udara karena dapat memberikan panas [33].

Rumus umum yang digunakan untuk menghitung daya pada *heater* dalam sebuah rangkaian listrik adalah sebagai berikut :

$$Q = m \times c_p \times \Delta T \dots\dots\dots 2.9 \quad [25]$$

$$P = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots 2.10 \quad [25]$$

Dimana :

Q = Jumlah Kalor, Kj

m = massa bahan, Kg

c_p = Panas spesifik bahan, Kcal/Kg. °C

ΔT = Perubahan Temperatur, °C

P = Daya Listrik, Watt

t = Waktu, Jam



Sumber: Rahmadhan, 2014

Gambar 2.4 *Finned Heater*

2.6 Blower

Blower banyak digunakan di industri. Blower biasanya digunakan untuk memindahkan sejumlah volume udara atau gas melalui suatu saluran (duct). Selain itu, blower juga digunakan untuk memasok udara dalam proses pengeringan, pemindahan bahan tersuspensi di dalam aliran gas, pembuangan asap, pengondensasian menara, pemasokan udara untuk pembakaran boiler, pembuangan debu, aerasi sampah, pengeringan, pendinginan proses-proses

industrial, sistem ventilasi ruangan, dan aplikasi sistem beraliran tinggi dan bertekanan rendah yang lain[34].

Rumus umum yang digunakan untuk menghitung daya pada heater dalam sebuah rangkaian listrik adalah sebagai berikut :

$$\gamma = \rho \cdot g \quad \dots\dots\dots 2.11 \quad [1]$$

$$\Delta P = c \cdot a \cdot h \left(\frac{1}{T_0} \cdot \frac{1}{T_i} \right) \dots\dots\dots 2.12 \quad [1]$$

$$H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \quad \dots\dots\dots 2.13 \quad [1]$$

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \quad \dots\dots\dots 2.14 \quad [1]$$

Dimana :

- γ = Berat Jenis Udara (N/m²)
- ρ = Massa Jenis Udara (1,293 Kg/m³)
- g = Gaya Gravitasi (9,8 m/s²)
- c = 0,0342
- a = Tekanan Atmosfer (101325 pa)
- h = Tinggi Blower (m)
- T_0 = Temperatur Udara Absolute (293 K)
- T_i = Temperatur Udara Pengering (K)
- ΔP = Perbedaan Tekanan Blower (Pa)
- P = Daya Listrik (Watt)
- H = Head Blower (m)
- Q = Laju Alir Blower (m³/s)